

Aus dem Institut für Geflügelkrankheiten
der Justus Liebig-Universität zu Gießen
Direktor: Professor Dr. Heinrich Geißler

Der quantitative Nachweis von Keimen aus der
Luft mit Hilfe des Siebplattenperlators

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
bei dem Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus Liebig-Universität zu
Gießen

Eingereicht von
Peter Schick

Tierarzt aus Innsbruck

Gießen 1974

Aus dem Institut für Geflügelkrankheiten
der Justus Liebig-Universität zu Gießen
Direktor: Professor Dr. Heinrich Geißler

Der quantitative Nachweis von Keimen aus der
Luft mit Hilfe des Siebplattenperlators

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
bei dem Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus Liebig-Universität zu
Gießen

Eingereicht von
Peter Schick
Tierarzt aus Innsbruck

Gießen 1974

Mit Genehmigung des Fachbereiches Veterinärmedizin in Gießen

Dekan : Prof. Dr. M. Frimmer

Berichterstatter : Prof. Dr. H. Geißler

Tag der mündlichen Prüfung : 24 Juni 1974



I N H A L T

	Seite
I. Einleitung	1
II. Literatur	
A. Übertragung von Krankheitserregern durch die Luft	3
B. Aerosol: Definition und Entstehungsmechanismus	3
C. Nachweis von Mikroorganismen aus der Luft	5
III. Entwicklung eines Sammelgerätes	11
A. Problemstellung	11
B. Beschreibung des Siebplattenperlators	12
C. Erprobung des Perlators	15
1. Testkeim	15
2. Kulturmedium	15
3. Versuchsanordnung	16
a) Glove-Box	16
b) Zerstäubungsgerät	18
c) Volumenmeßgerät	18
4. Arbeitsvorgang der Anlage	18
D. Ergebnisse	19
1. Prüfung des Sammelvermögens des Siebplattenperlators	19
2. Rückgewinnungsrate aus einem dynamischen Aerosol	20
a) Rückgewinnung aus einem Aerosolvolumen von 50 l	21
b) Rückgewinnung aus einem Aerosolvolumen von 100 l	23
c) Rückgewinnung aus einem Aerosolvolumen von 150 l	23
3. Rückgewinnung von Keimen aus einem dynamischen Aerosol bei höherer Luftdurchflußgeschwindigkeit	24
IV. Besprechung der Ergebnisse	26
V. Kritische Betrachtung des Siebplattenperlators	28
VI. Zusammenfassung	29
VII. Literaturverzeichnis	30

I. EINLEITUNG

Noch bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts schrieb man die Entstehung von Krankheiten oder Epidemien sogenannten "Miasmen" oder auch schlechter Luft zu. Diese Auffassung hatte ebenso viele Anhänger als auch Gegner.

Erst die später einsetzende bakteriologische und virologische Forschung konnte beweisen, daß die miasmatische Auffassung über die Entstehung von Krankheiten nicht ganz zu Unrecht bestand, da die unbekannten Stoffe (Miasmen) nun bekannt waren und Mikroorganismen und Toxine darstellten. Robert Koch, Louis Pasteur und andere entdeckten in rascher Folge die verschiedensten Krankheitserreger. Um die Jahrhundertwende entstanden schon die Fachrichtungen Bakteriologie und Virologie. Bis 1930 entwickelten sich daraus weitere spezifische Fachrichtungen wie z.B. die Biochemie, Cytologie, Immunologie, Molekular-Genetik um nur einige zu nennen.

Die Grundlagenforschung auf diesen Gebieten hatte eine Fülle von Ergebnissen gebracht.

In den letzten 4 Jahrzehnten ist auf Grund der Ergebnisse der Grundlagenforschung als auch der durch die Technisierung des Menschen entstandenen Umweltprobleme die "Angewandte Forschung" entstanden.

Diese Arbeit befaßt sich mit der Aerobiologie als Bestandteil der Epidemiologie.

Aerobiologie kann man im weitesten Sinne als Lufthygiene bezeichnen. Sie befaßt sich mit der Untersuchung der Luft auf

ihren Gehalt an organischen und anorganischen Stoffen. Zu den organischen Stoffen zählt man unter anderem Pollen, Pilze, Bakterien und Viren, zu den anorganischen Staub, Rauch und Abgase.

Auf Grund der Verschiedenheit dieser Stoffe sind Wissenschaftler der verschiedenen Fachrichtungen wie z.B. Botaniker, Mediziner, insbesondere Hygieniker, Physiker, Chemiker und Toxikologen auf dem Gebiet der Aerobiologie tätig.

Die medizinische Aerobiologie befaßt sich mit der biologischen Kontamination der Luft und deren Einfluß auf die menschliche Gesundheit. Dabei versucht man, den Übertragungsmechanismus von Krankheitserregern durch die Luft zu beschreiben. Für sehr viele Arten von Krankheitserregern stellt der Respirationsapparat die primäre Eintrittspforte dar. Es versteht sich von selbst, daß die Anzahl von Mikroorganismen in der Luft einen kritischen Wert erreichen muß, um Krankheitserscheinungen auslösen zu können. Bei vielen Erkrankungen insbesondere des Personals in Laborräumen, Krankenstationen und Operationssälen spielte die Luft als Überträger von Krankheitserregern eine nicht unwesentliche Rolle.

Je früher man den Gehalt an pathogenen Agenzien in der Luft nachweisen kann, desto schneller kann man die daraus resultierenden therapeutischen oder auch prophylaktischen Maßnahmen ergreifen.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines quantitativen Nachweises von Keimen aus der Luft. Als Testkeim wird das Bakterium *Serratia marcescens* verwendet.

II. LITERATUR

A. Die Übertragung von Krankheitserregern durch die Luft

Die natürliche Übertragung, vor allem der Erkrankungen des Atmungstraktes, geschieht durch die Luft. Die Luft ist in diesem Falle Träger von infektiösem Material.

CHAPIN (1912) behauptete, daß die Übertragung vieler Krankheiten durch Staub- als auch auf kurze Entfernung durch Nebelerzeugung geschieht, was letzten Endes eher als eine Kontaktinfektion als eine aerogene Infektion angesehen wird. CHOPE und SMILLIE (1936) erklärten, daß die Luft als Faktor der Krankheitsübertragung eine solche Bedeutung besitzt, wie sie die frühe Entwicklung der bakteriologischen Wissenschaft nicht erkennen ließ. 1930 berichtete LURIE überzeugende Ergebnisse über die aerogene Übertragung von Tuberkulose unter Meerschweinchen.

Untersuchungen zum Schutz vor Laborinfektionen brachten wertvolle Ergebnisse, da viele dieser Infektionen über den Respirationsweg eingedrungen sind. Einige wichtige Krankheiten des Menschen, deren aerogener Ausbreitungsmechanismus als gesichert angesehen wird, sind Diphtherie, Tuberculose, Lungenmilzbrand, Brucellose, Tularämie, Mycosen, Q-Fieber, Influenza und andere Arten von Virus-Infektionen.

B. Aerosol: Definition und Entstehungsmechanismus

Eine Verteilung von kleinsten, festen Stoffen in einem flüssigen Lösungsmittel stellt ein kolloiddisperses System dar, und wird als "kolloide Lösung" oder "Sol" bezeichnet.

Es handelt sich bei den festen Stoffen um Teilchen in der Größenordnung von etwa 100μ - 1μ . Diese Teilchen sind - auch unter dem Mikroskop - nicht sichtbar, da ihre Größe unterhalb der Wellenlänge des sichtbaren Lichts (4000 - $8000 \text{ \AA}$) liegt.

Analog zu dieser Erklärung bedeutet "Aerosol" nichts anderes als eine mehr oder weniger starke Verteilung von Partikeln in der Luft.

Wenn auch die Partikel so groß sein können, daß sie mit dem bloßen Auge zu erkennen sind wie z. B. Nebel oder Rauch, so behält man doch den Begriff "Aerosol" für eine Suspension von flüssigen oder festen Stoffen in der Luft bei.

Man unterscheidet zwei Arten:

1. das natürliche Aerosol
2. das künstliche Aerosol.

Der Entstehungsmechanismus ist bei beiden der gleiche.

LANGMUIR (1956) beschreibt sogenannte "droplet nuclei" als kleine in der Luft suspendierte Rückstände, die durch Verdunstung von größeren Tropfen, die aus der Mundhöhle oder dem Nasen-Rachenraum stammen, entstehen. Diese Kondensationsrückstände werden, wenn sie infektiöse Mikroorganismen oder toxische Stoffe enthalten, zu einem biologischen Aerosol.

DARLOW (1969) beschreibt als Ursachen zur Entstehung eines natürlichen Aerosols: das Sprudeln und Spritzen der Abwässer besonders im Detergentienschaum, das Brechen der Welle am Strand sowie das Klatschen des Regens auf verrottende Vegetation. Bei diesen Vorgängen entstehen feinste Mikrotröpfchen, die je nach den Luftströmungsverhältnissen eine mehr oder we-

niger weite Entfernung zurücklegen. Das Ziel dieser Mikrotröpfchen ist vom Zufall bestimmt und kann Boden, Pflanze, Tier oder Mensch sein (WINKLER (1972)).

Das experimentelle oder künstliche Aerosol wird erzeugt durch

1. Zerstäuben von flüssigen Suspensionen,
2. feines Zerkleinern (Verreiben) von festen Stoffen.

zu 1.

Nach diesem Prinzip arbeiten die überall angewandten Zerstäuber. Der Mechanismus ist ähnlich dem einer Wasserstrahlpumpe. Die Luft strömt mit hoher Geschwindigkeit durch eine enge Öffnung, sogenannte Düse, in einen größerlumigen Raum. An der Stelle der engen Öffnung tritt eine Druckverminderung und somit eine Saugwirkung ein, wodurch die flüssige Suspension durch eine seitliche Öffnung angesaugt wird. Hierbei zerfällt die Flüssigkeitssäule im Ansaugrohr in kleine Tröpfchen, die wiederum durch die scherende Kraft der Luft in noch kleinere Tröpfchen zerfallen. Um ein homogenes Aerosol zu erzeugen, wird vor der Austrittsstelle eine Abschirmglocke befestigt, die dem Zweck dient, Tröpfchen ab einer bestimmte Größe abzufangen.

zu 2.

Durch Verstreuen von feinen Pudern entstehen ebenfalls Aerosole. Hautschuppen, zerkleinerte Haare, Federn, Textilien und Staub können als Trägersubstanzen für Infektionserreger gleich welcher Art angesehen werden.

C. Nachweis von Mikroorganismen aus der Luft

Zur Erforschung des Mikroorganismengehaltes der Luft wurden zahlreiche Sammelgeräte entwickelt.

Die Methoden, nach denen diese Geräte arbeiten, können in folgende Gruppen eingeteilt werden.

1. Qualitative Methoden

A) Ablagerung (Sedimentation)

B) Ausschleudern auf einen festen Nährboden

2. Quantitative Methoden

A) Sammeln der Mikroorganismen auf einen festen Nährboden

a) Zentrifugation

b) Aufprallverfahren (Schlitzsampler)

c) Absetzverfahren (Trichter- oder Siebsammler)

d) Elektropraezipitation

e) Thermopraecipitation

B) Auswaschverfahren

a) Drosselung

b) Dispersion einer Flüssigkeit (Adsorption an kleinen Tröpfchen)

C) Filtration

1. A)

Die Sedimentationsmethode ist das einfachste Verfahren. Hierbei geschieht die Aufimpfung in offene Petrischalen mit festem Nährboden. Die Mikroflora lagert sich auf Grund der Schwerkraft ab oder wird von einem Luftstrom ausgeschleudert. Die lebensfähigen Mikroorganismen bilden auf dem Nährboden Kolonien. Diese Methode ist jedoch nur für eine qualitative Charakterisierung geeignet, da die Umrechnung auf ein bestimmtes Luftvolumen kaum möglich oder nur sehr ungenau ist.

1. B)

Für das Ausschleuderverfahren sind verschiedene Apparate ent-

wickelt worden. Z.B. hat MATWEJEW (1957) ein fahrbares Gestell mit einer Wetterfahne konstruiert, in dem eine Petrischale im Winkel von 45° aufgestellt wird. Die Mikroorganismen werden durch den Luftstrom auf die Agaroberfläche ausgeschleudert.

Auf dem gleichen Prinzip beruht der Apparat von STOJANOVSKIJ und REWA (1954), der aus einem Trichter und einem Rohr, in das die Petrischale gestellt wird, besteht. Die Entnahme der Luftprobe geschieht während einer Autofahrt. Ein ähnliches Gerät wurde von KELLY, DADY und POLUNIN (1951) bei der Erforschung der Mikroflora der Luft von einem Flugzeug aus angewandt.

Die Aerozentrifuge von RETSCHMJENSKIJ (zitiert nach VILODAVEC (1958)) arbeitet in der Weise, daß 1 - 4 Röhrchen mit Zellophanlamellen, die mit Vaselinöl bestrichen sind, auf einer Plexiglasscheibe angebracht sind und bei der Rotation der Scheibe Bakterienteilchen festhalten. Von den Lamellen wird dann ein Abklatschpräparat angefertigt. Dieser Apparat dient zur qualitativen Bestimmung der pyogenen Flora in Krankenhäusern.

Diese bis jetzt erwähnten Geräte vermitteln nur eine Vorstellung der qualitativen Zusammensetzung der Luft-Mikroflora.

2. A. a)

Für die quantitative Untersuchung des Keimgehaltes der Luft sind viele Geräte entwickelt worden, von denen einige auch zum Nachweis von Viren benutzt werden.

Eine von WELLS (1932) und SAFIR (1945) entwickelte Aerozentrifuge arbeitet in folgender Weise:

Bei schneller Rotation wird Agar-Agar in geschmolzenem Zu-

stand gleichmäßig über die Wandung eines Zylinders verteilt, wo er dann erstarrt. Der Zylinder dreht sich bei Luftprobenentnahme mit 3000 U/min. Die zu untersuchende Luft gelangt über ein Rohr auf den Boden des Zylinders. Dabei werden die bakterienhaltigen Teilchen während des Durchzuges der Luft vom Boden bis zur Öffnung des Zylinders auf die Agar-Oberfläche ausgeschleudert. Zur virologischen Untersuchung der Luft wurde der Agar-Agar im Zylinder durch 20 ml Pufferlösung ersetzt.

2. A. b)

Die Untersuchung der Luft mittels eines Schlitzsammlers beruht auf der Stoß- und Ausschleuderwirkung eines Luftstromes. Dieser tritt mit einer Geschwindigkeit von 15 - 20 m/sec. durch einen engen keilförmigen Spalt hindurch und trifft auf die Oberfläche eines Nährbodens in einer rotierenden Petrischale. Nach diesem Verfahren arbeiten der "Casella slit - sampler" sowie der Apparat von KROTOV (zitiert nach VILODAVEČ (1958)).

2. A. c)

Beim Absetzverfahren mit Hilfe des Trichtersammlers steht eine Petrischale unter einem umgestülpten Trichter, durch den die Luft angesaugt wird. Wegen der geringen Ausschleuderkraft bleibt jedoch ein großer Teil der Mikroorganismen an der Agaroberfläche nicht hängen. Dagegen hat sich die Siebmethode besser bewährt. Hier befindet sich die Petrischale mit Nährboden in einer Kammer. Die Luft wird beim Eintritt in die Kammer durch eine Lamelle geleitet, die 300 Öffnungen von 0,5 mm Durchmesser besitzt. Die Schale wird in Form von Kreisen, den Öffnungen entsprechend, beimpft.

Beim modifizierten Sieb-Sammler von ANDERSON (1958) stehen 6 Petrischalen auf 6 Stufen übereinander. Jede Stufe hat eine eigene Sieblamelle, wobei die Öffnungen der obersten Lamelle groß sind (1,81 mm) und bis zur untersten Stufe zunehmend kleiner werden (0,25 mm). Die Geschwindigkeit des Luftstromes wird zur untersten Stufe hin größer, so daß auf der obersten Petrischale die größeren Bakterien oder Staubteilchen und auf der untersten Petrischale die fein dispersen Fraktionen des Aerosols gesammelt werden.

2. A. d)

Die Methode der Elektropräzipitation beruht darauf, daß geladene Mikroorganismen von der Oberfläche eines Nährbodens in einem elektrischen Feld von hoher Spannung angezogen werden. Zu diesem Zweck werden die Petrischalen auf eine Elektrode gestellt, der Gleichstrom von hoher Spannung zugeführt wird. (VLODAVEC (1958).

2. A. e.)

Bei der Thermopräzipitation erfolgt eine Sedimentation von Teilchen aus einer erwärmten Luftmenge bei der Berührung mit einer relativ kälteren Oberfläche. Diesen Vorgang macht man sich bei der Inhalationstherapie zu Nutzen.

2. B. a)

Das Auswaschen der Luft durch einen flüssigen Nährboden hat den Vorteil, daß das Nährmedium auf verschiedene andere Nährböden ausgestrichen werden kann. Zusätzlich kann man auch die Flüssigkeit auf ihren Gehalt an Viren oder Rickettsien untersuchen und sogar auf Versuchstiere verimpfen.

Für die Aspiration durch Flüssignährböden gibt es zwei grundlegende Verfahren.

- 1) Die Luft wird mit hoher Geschwindigkeit auf die Oberfläche eines flüssigen Nährbodens ausgeschleudert oder
- 2) die Luft wird mit langsamer Durchströmungsgeschwindigkeit in Form von kleinen feinverteilten Bläschen durch ein Nährmedium geleitet.

Es gibt eine Vielzahl von Geräten, die nach diesen beiden Prinzipien arbeiten. Stellvertretend für 1. sind der Kapillar-Impinger von ROSEBURY (1947) sowie der AGI (ALL GLASS IMPINGER) und für 2. der "Folin - bubbler" sowie der "Djakonow-Apparat" zu nennen. (VLODAVEC (1958)). Letztere unterscheiden sich lediglich darin, daß der Folin - bubbler eine, der Djakonow-Apparat fünf Luftaustrittsöffnungen besitzt.

2. B. b)

Bei der Dispersion wird die Nährflüssigkeit in einem bestimmten Luftvolumen zerstäubt. Die dabei entstandenen Mikrotröpfchen adsorbieren die in der Luft schwebenden Partikel und schlagen sich an den Wänden oder am Boden einer Auffangkammer nieder, wo sie wieder zu einer größeren Flüssigkeitsmenge zusammenfließen.

2. C.

Die Filtrationsmethoden haben den Vorzug, daß sie auch bei Minustemperaturen angewandt werden können. Es gibt eine Vielzahl an Filtern, die alle ihre Vorteile aber auch Nachteile haben. Das Material, aus dem die Filter bestehen, reicht von Wollfasern über Watte, Mull, Papier, Asbest bis zu löslichen Stoffen wie Gelatineschaum, Natriumalginat und Aluminiumalginat. Die Filter werden oft in Kombination mit anderen Methoden verwendet.

III. ENTWICKLUNG EINES SAMMELGERÄTES

A. Problemstellung

Zum Nachweis von Erregern aus der Luft und zur Keimrückgewinnung werden Sammelgeräte verwendet. Bei der Konstruktion eines solchen Gerätes muß

1. die Rückgewinnungsrate bzw. der Auswascheffekt,
2. die Entstehung eines sekundären Aerosols bzw. der Durchreißeffekt

beachtet werden.

Es wird davon ausgegangen, daß der Auswascheffekt umso höher ist, je intensiver die Luft mit der Waschflüssigkeit in Berührung kommt.

Dies kann dadurch erreicht werden, daß die Luft mit hoher Geschwindigkeit in das Sammelmedium eingeschossen und durch die Bremswirkung der Flüssigkeit in kleine Luftbläschen verteilt wird, die intensiv mit dem Sammelmedium in Berührung kommen. Bei hoher Luftgeschwindigkeit ist ein hoher Durchreißeffekt zu erwarten. Das bedeutet, daß die Luft innerhalb einer kurzen Zeitspanne nur ungenügend mit der Sammelflüssigkeit in Berührung kommt, so daß ein großer Teil der in den Luftbläschen enthaltenen Mikroorganismen auf Grund der hohen Luftgeschwindigkeit hindurchgerissen wird und auf diese Weise nicht erfaßt werden kann.

Um diesen Effekt zu unterlaufen, bestand die Vorstellung

eine feine Verteilung der zu untersuchenden Luft in dem Waschmedium bei geringer Durchströmungsgeschwindigkeit durch die Verwendung von Siebplatten an Stelle der gebräuchlichen Kapillaren zu erreichen. Hierfür wurde auf im Handel erhältliche Einzelteile zurückgegriffen, da die Herstellung von Sonderanfertigungen zu kostspielig war.

Infolge der Besonderheit des Luftdurchlasses handelt es sich bei dem entwickelten Gerät um einen Perlator, der hier als Siebplattenperlator bezeichnet wird.

B. Beschreibung des Siebplattenperlators

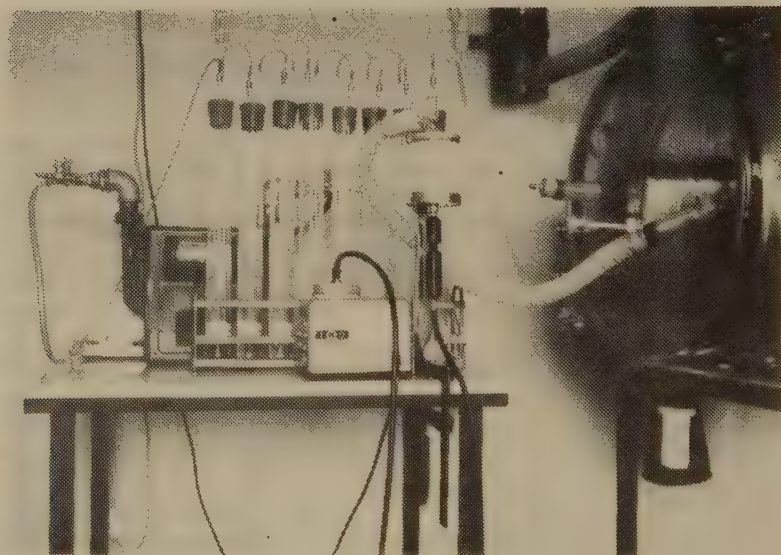


Abb. 1: Siebplattenperlator in Tätigkeit

Der Perlator besteht aus mehreren Einzelelementen, die in beliebiger Anzahl zu einer Batterie hintereinandergeschaltet werden können (Abb. 1). Ein Einzelelement (Abb. 2) besteht aus einem Glaszylinder (400 mm hoch, 41 mm Durchmesser) und einem Kunstharzverschluß, durch den 2 Kanülen geführt werden. Die eine Kanüle endet kurz unterhalb des Kunstharzverschlusses, während die andere bis zum Boden des Glaszylinders reicht. Letztere mündet in einen Konus, auf den ein Filterhalter (25 mm Durchmesser) aufgesetzt ist. Da bei der ersten Erprobung die feinen Luftbläschen an der nach unten gerichteten Austrittsstelle zu mehr oder weniger großen Blasen zusammenflossen, mußte der mit dem Konus versehene Kanülenabschnitt nach oben aufgebogen werden. Dadurch bleiben die durch jede Pore der Siebplatte austretenden Luftbläschen in ihrer Form erhalten. Während des Aufsteigens durch die Waschflüssigkeit hat ihre Oberfläche guten Kontakt mit dem Waschmedium. Der Filterhalter ist ein von der Firma Millipore hergestellter und von uns modifizierter Swinnex-Filterhalter, der eine Siebplatten-Membran (ISET xx 300 2503) mit etwa 4000 Poren hat. Er dient lediglich zur feinen Verteilung der in das Element eingeleiteten Luft. Die Kanülen der einzelnen Elemente werden mit Kunststoffschläuchen gleichen Durchmessers miteinander verbunden.

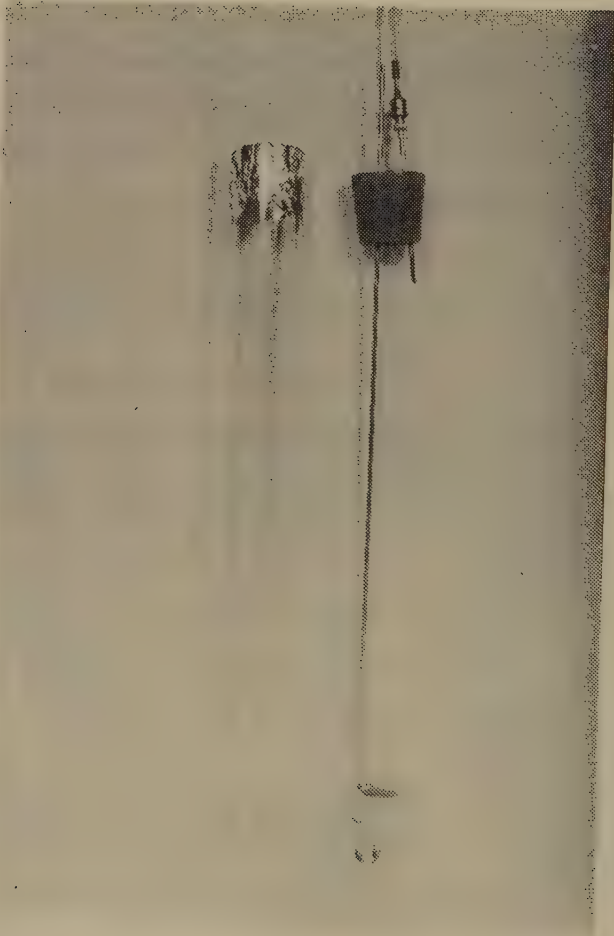


Abb. 2 : Einzelelement

C. Erprobung des Perlators

1. Testkeim

Zur Überprüfung des Siebplattenperlators wurden mehrere Versuche mit dem Testkeim *Serratia marcescens* (*Bacterium prodigiosum*) durchgeführt.

Morphologisch handelt es sich um ein sehr kleines ($0,5 : 1 \mu$) gramnegatives, unbewegliches Stäbchen, das leicht mit gramnegativen Kokken verwechselt werden kann (unbewegliche Variante).

Kulturell wächst es auf allen einfachen Nährböden rasch und üppig und bildet bei seinem Temperaturoptimum von 20°C - 30°C einen leuchtend roten Farbstoff, das Prodigiosin. OTTE (1967).

2. Kulturmedium

Als Kulturmedium diene einfache Nährbouillon (Nutrient Broth OXOID), die folgende Zusammensetzung aufweist:

Lab Lemco Fleischextrakt	1 g/l
Dotterextrakt	2 g/l
Pepton	5 g/l
NaCl	5 g/l

Der pH-Wert beträgt 7,4.

Um ein Überschäumen der Nährbouillon zu verhindern, wurde bei jedem Versuch dem Sammelmedium Oktanol in 1%iger Konzentration zugegeben. Ein Ausstrich von *Serratia marcescens* mit 2% igem Oktanol auf einer Blutagar-Platte wurde im Wachstum nicht gehemmt.

3. Versuchsanordnung

a) Glove-Box

Die Erzeugung von Erreger-Aerosolen muß in kontrollierbaren Räumen stattfinden, aus denen der Erreger nicht entweichen kann, und die sich nach Kontamination mit geeigneten Maßnahmen desinfizieren lassen. Diese Anforderungen werden einmal hinsichtlich des Schutzes der Personen vor Infektionen (SCHÖOP (1962)) gestellt und zum anderen sind sie eine seuchenhygienische Notwendigkeit (T i e r s e u c h e n - g e s e t z).

Für derartige Versuchsanordnungen wurden hermetisch abgeschlossene Räume (stationär) als auch Behältnisse in Form größerer Kammern (beweglich) entwickelt, die einen Rauminhalt von $0,5 \text{ m}^3$ - 2 m^3 und mehr aufweisen. Die Behältnisse, die mit absolut dicht schließenden langarmigen Handschuhen für Manipulationen in der Kammer ausgestattet sind, werden allgemein als "Glove-Box" bezeichnet.

Geeignete Glove-Boxen waren im Handel nicht erhältlich, so daß eine Sonderanfertigung für die Versuche entwickelt werden mußte. Als Grundlage diente eine für Isotopen-Arbeiten entwickelte Glove-Box der Firma Buchler.

Diese Glove-Box ist als doppelter Arbeitsplatz ausgebildet und besitzt folgende Abmessungen: Breite: 1040 mm, Tiefe: 850 mm, Höhe: 800 mm, Dachbreite: 350 mm.

Auf beiden Seiten befinden sich die geneigt angeordneten Sichtscheiben aus Verbundglas mit Dichtung und verschraubten Edelstahlrahmen. Sie sind 980 mm x 370 mm groß und können mit Hilfe von Verdunkelungsblenden abgedeckt werden.

Darunter sind auf jeder Seite zwei Handschuhöffnungen mit auswechselbaren langstulpigen Neoprenhandschuhen eingesetzt.

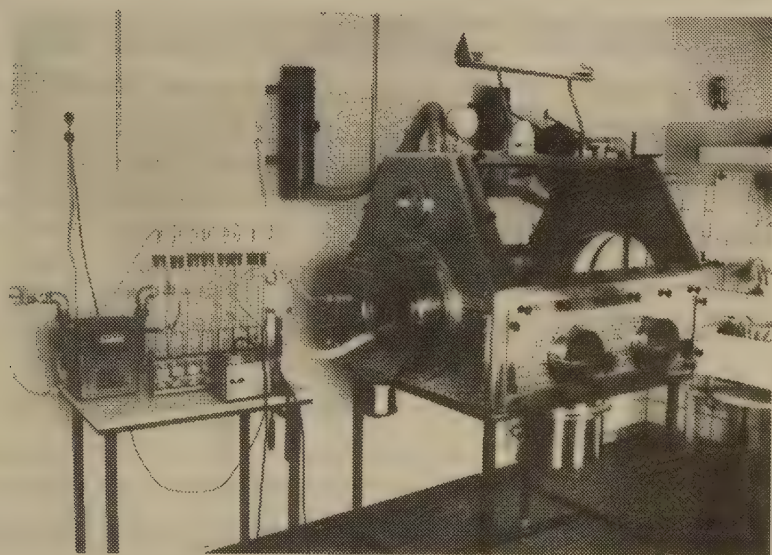


Abb.3: Glove-Box

Im Boxboden ist ohne besonderes Gefälle eine Ablaufgarnitur mit Geruchsverschluß angeordnet. Weiterhin sind 2 Isolatorpforten, 1 Exhaustor, 1 Beleuchtungseinrichtung, 1 Druckregler sowie 1 Vakuummeter eingebaut.

Das Belüftungssystem ist unter anderem besonders geeignet für die Desinfektion des Innenraumes. In gleicher Weise kann an den Isolatorpforten eine Futter- und Tierschleuse angeschlossen werden, die für eine keimfreie Aufzucht von Versuchstieren unerlässlich sind. Außerdem haben die Isolator-

pforten den Vorteil, daß sie in ihrer Größe den international genormten Isolatoren wie z.B. dem Trexler-Plastik-Isolator angepaßt sind, wodurch eine Vielzahl von Kombinationen in der Versuchsanordnung möglich ist.

Das Material ist äußerst beständig gegenüber scharfen Desinfektionsmitteln wie die in unseren Versuchen verwendete Peressigsäure.

b) Zerstäubungsgerät

Zur Herstellung von künstlichen Aerosolen wurde ein Heyer-Ringdüsen-Vernebler verwendet.

Dieser Vernebler erzeugt mit Hilfe eines verstellbaren Prallhelms variable Tröpfengrößen von $0,5 \mu$ - 5μ sowie 5μ - 10μ mit hoher Nebeldichte.

c) Volumenmeßgerät

Um die aus dem infizierten Raum entnommene Luft genau zu messen, wurde eine Gasmeßuhr zwischengeschaltet. Es handelt sich hierbei um einen Stadtgaszähler, bei dem der abgelesene Wert mit dem Faktor 1,69 multipliziert werden muß, um die Volumeneinheiten für Luft zu erhalten.

4. Arbeitsvorgang der Anlage

Erregersuspensionen werden mittels des Ringdüsen-Verneblers als Aerosol in die Glove-Box eingeleitet. Mit Hilfe einer Vacuum-Pumpe wird Luft aus der Glove-Box angesaugt und durch den Perlator geleitet. Das letzte Element der Perlator-Batterie ist mit 2%iger Natriumhypochlorit-Lösung gefüllt, um hiermit eventuell noch vorhandene Erreger abzutöten.

Zwischen Perlator und Ansaugmotor ist eine Gasmeßuhr geschaltet. Zur Absicherung, daß die austretende Luft auch

wirklich keimfrei ist, wird vor der Gasmeßuhr noch ein Sartorius-Filter eingebaut.

D. Ergebnisse

1. Prüfung des Sammelvermögens des Siebplattenperlators

Der folgende Versuch diente dem Zweck, festzustellen, ob der Perlator geeignet ist, Keime aus einem Aerosol zurückzugewinnen. Dazu wurden 12 ml einer Bakteriensuspension von *Serratia marcescens* mit einer Keimzahl von 6×10^8 /ml zerstäubt.

Der verstellbare Prallhelm des Ringdüsenverneblers war so eingestellt, daß eine Tröpfchengröße des Aerosols von durchschnittlich 8μ erzeugt wurde.

In der Glove-Box waren eine Temperatur von $18^{\circ} - 20^{\circ} \text{C}$ und eine relative Luftfeuchtigkeit von 40 - 45% vorhanden.

Die Absaugkanüle des Perlators wurde in den erzeugten Aerosolstrom hineingehalten. Die Zerstäubungszeit dauerte so lange wie die Sammelzeit.

Durch den Perlator mit 8 hintereinandergeschalteten Elementen wurden 300 l Luft in 45 min durchgesogen. Jedes Element enthielt 200 ml Nährbouillon. Anschließend wurde aus jedem Zylinder 1 ml der Sammelflüssigkeit entnommen und damit eine Verdünnungsreihe bis $1:10^8$ hergestellt, die bei 30°C 48 Std. bebrütet wurde. Aus der Abbildung 4 ist zu entnehmen, daß eine Rückgewinnung bis zum Element 4 möglich war.

In den Zylindern 1 und 2 wurde der höchste Titer mit 10^4 und 10^2 nachgewiesen. Das bedeutet, daß von Zylinder 1 zu

Zylinder 2 mit einer Durchreißquote von 1% gerechnet werden muß.

In den Zylindern 3 und 4 erreichte der Titer einen Wert von 10^1 , während in den Zylindern 5 - 8 keine Keime festgestellt wurden. Aus diesem Grunde wurden für die weiteren Versuche jeweils nur 4 Perlatorelemente verwendet.

2. Rückgewinnungsrate aus einem dynamischen Aerosol

Die Versuchsbedingungen waren die gleichen wie oben beschrieben. Zur quantitativen Feststellung des Keimgehaltes der rückgewonnenen Aerosolmenge wurde die Rückgewinnungsrate nach folgenden 3 Formeln (ROSEBURY(1948) berechnet:

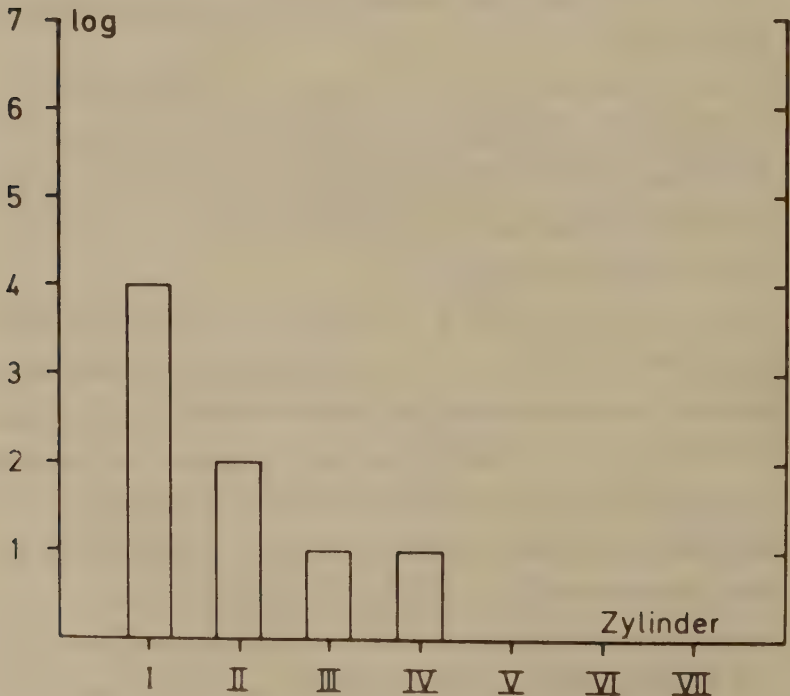


Abb. 4. Rückgewinnung von lebenden Keimen aus einem
Serr. marc. Aerosolvolumen von 300 l

1. Die Konzentration des Aerosols/l ist definiert als

$$(1) \quad \frac{\text{Konzentration der Suspension/ml} \times \text{Zerstäubungsmenge (ml)}}{\text{Zerstäubungsleistung (l/min)} \times \text{Zerstäubungszeit (min)}}$$

2. Die Konzentration der rückgewonnenen Aerosolmenge/l ist definiert als

$$(2) \quad \frac{\text{Konzentration/ml Sammelmedium} \times 200}{\text{Luftdurchflußzeit (l/min)} \times \text{Sammelzeit (min)}}$$

3. Aus den Formeln (1) und (2) ergibt sich die Rückgewinnungsrate als

$$(3) \quad \frac{\text{Konzentration/l der rückgewonnenen Aerosolmenge} \times 100}{\text{Konzentration der zerstäubten Aerosolmenge}}$$

Bei den nun folgenden Versuchen sollte neben der Rückgewinnungsrate festgestellt werden, ob bei zunehmender durch den Perlator durchgesogener Luftmenge die Rückgewinnung von Bakterien sich erhöht oder einen bestimmten Grad nicht übersteigt.

a) Rückgewinnung aus einem Aerosolvolumen von 50 l

Hierzu wurden 5 Versuche durchgeführt. Die Zerstäubungssuspension enthielt $1,0 \times 10^8$ Keime/ml. Die Zerstäubungsmenge betrug jeweils 1,5 ml. Die Leistung des Zerstäubers beträgt 8 l/min. Die Zerstäubungszeit dauerte so lange wie die Luftdurchflußzeit durch den Perlator, in diesem Falle 8 min, da zu Absaugen einer Luft- bzw. Aerosolmenge von 50 l 8 min gebraucht wurden. Das entspricht einer Luftdurchflußgeschwindigkeit von 6,25 l/min. Dabei sei festgestellt, daß das erzeugte Aerosolvolumen nicht identisch ist mit dem durch den Perlator durchgesogenen Volumen. Dies wird in der Berechnung berücksichtigt.

Nach dem Sammelvorgang wurden aus jedem Zylinder 1 ml des Sammelmediums entnommen und bis zur Stufe $1:10^5$ verdünnt.

Aus den Verdünnungsstufen $1:10^3$, $1:10^4$ und $1:10^5$ wurden je 4 x 0,5 ml entnommen und mittels eines rechtwinklig gebogenen

Glasstabes auf je einer Blutagarplatte ausgestrichen. Die Verdünnungsreihe sowie die Blutagarplatten wurden anschließend 48 Std. bei 30°C bebrütet

Konzentration der Susp./ml	Konz. des Aerosols/l	Konz. des Sam- melmed./ml	Konz. des rück- gew. Aerosols/l	Rückgew. %
$1,0 \times 10^8$	$2,3 \times 10^6$	$1,6 \times 10^4$	$6,4 \times 10^4$	2,8
$1,0 \times 10^8$	$2,3 \times 10^6$	$8,0 \times 10^3$	$3,2 \times 10^4$	1,4
$1,0 \times 10^8$	$2,3 \times 10^6$	$1,1 \times 10^4$	$4,4 \times 10^4$	1,9
$1,0 \times 10^8$	$2,3 \times 10^6$	$1,4 \times 10^4$	$5,6 \times 10^4$	2,4
$1,0 \times 10^8$	$2,3 \times 10^6$	$1,2 \times 10^4$	$4,8 \times 10^4$	2,0

Mittelwert und Streuung: $2,1 \pm 0,5\%$

Tab. 1 Rückgewinnung aus einem Aerosolvolumen von 50 l

Es ergab sich, wie aus Tab. 1 zu entnehmen ist, daß die prozentuale Rückgewinnung aus Zylinder 1 durchschnittlich 2,1% betrug.

Der mittlere Fehler oder die Streuung wurde mit $\pm 0,5\%$ errechnet nach der Formel $s = \pm \sqrt{\frac{\text{Summe der Abweichungsquadrate}}{\text{Anzahl der Freiheitsgrade}}}$

In den Zylindern 2- 4 betrug der Titer 10^2 , 10^1 und 0. Diese Werte wurden vernachlässigt, da sie keine wesentliche Erhöhung der Rückgewinnung darstellten. Für die Ermittlung der Rückgewinnungsrate wird der Versuch 1 der Tab. 1 im folgenden Beispiel durchgerechnet.

$$(1) \quad \frac{1,0 \times 10^8 \times 1,5}{8 \times 8} = \frac{1,5 \times 10^8}{64} = 2,3 \times 10^6$$

$$(2) \quad \frac{1,6 \times 10^4 \times 200}{6,25 \times 8} = \frac{1,6 \times 10^4 \times 200}{50} = 6,4 \times 10^4$$

$$(3) \quad \frac{6,4 \times 10^4 \times 100}{2,3 \times 10^6} = \frac{6,4}{2,3} = 2,8$$

b) Rückgewinnung aus einem Aerosolvolumen von 100 l

Bei dieser Versuchsreihe betrug die Keimanzahl der Zerstäubungssuspension $1,8 \times 10^9$ /ml. Zerstäubt wurden jeweils 3,5 ml. Die Luftdurchflußgeschwindigkeit betrug wie im vorhergehenden Versuch 6,25 l/min, das entspricht 100 l/16 min. Die Zerstäubungszeit dauerte ebenfalls 16 min. Dabei wurde ein Aerosolvolumen von 128 l erzeugt. Die Versuchsdurchführung war die gleiche wie oben beschrieben. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 aufgeführt.

Konzentration der Susp./ml	Konz. des Aerosols/l	Konz. d. Sam- melmed./ml	Konz. d. rückgew. Aerosols/l	Rückgew. %
$1,8 \times 10^9$	5×10^7	$3,6 \times 10^5$	$7,2 \times 10^5$	1,4
$1,8 \times 10^9$	5×10^7	$4,5 \times 10^5$	$9,0 \times 10^5$	1,8
$1,8 \times 10^9$	5×10^7	$6,0 \times 10^5$	$1,2 \times 10^6$	2,4
$1,8 \times 10^9$	5×10^7	$4,2 \times 10^5$	$8,4 \times 10^5$	1,7

Mittelwert und Streuung: $1,8 \pm 0,6\%$

Tab. 2 Rückgewinnung aus einem Aerosolvolumen von 100 l

Es zeigte sich, daß der Prozentsatz bezüglich der Rückgewinnung sich nicht wesentlich änderte. Der Unterschied zum Mittelwert der Versuchsreihe a) beträgt dabei 0,3%.

c) Rückgewinnung aus einem Aerosolvolumen von 150 l

Die Zerstäubungssuspension besaß in dieser Versuchsreihe eine Konzentration von 3×10^9 Keimen/ml. Die Zerstäubungsmenge betrug jeweils 5 ml. Dabei wurde ein Aerosolvolumen von 200 l erzeugt. Die Luftdurchflußzeit betrug 25 min. Das entspricht

für 150 l einer Geschwindigkeit von 6 l/min.

Konzentration der Susp./ml	Konz. des Aerosols/l	Konz. d. Sam- melmed./ml	Konz. d. rückgew. Aerosols/l	Rückgew. %
3×10^9	$7,5 \times 10^7$	$6,8 \times 10^5$	$9,6 \times 10^5$	1,2
3×10^9	$7,5 \times 10^7$	$9,4 \times 10^5$	$12,5 \times 10^5$	1,6
3×10^9	$7,5 \times 10^7$	$8,6 \times 10^5$	$11,4 \times 10^5$	1,5
3×10^9	$7,5 \times 10^7$	$1,4 \times 10^6$	$1,8 \times 10^6$	2,4

Mittelwert und Streuung: $1,7 \pm 0,5\%$

Tab. 3 Rückgewinnung aus einem Aerosolvolumen von 150 l

Aus der Tab. 3 geht hervor, daß auch in dieser Versuchsreihe die Rückgewinnungsrate sich nicht wesentlich veränderte. Außerdem konnte festgestellt werden, daß sich die absolute Rückgewinnung/ml Sammelmedium mit zunehmender Luftmenge erhöhte.

3. Rückgewinnung von Keimen aus einem dynamischen Aerosol bei höherer Luftdurchflußgeschwindigkeit

In dieser Versuchsreihe sollte geprüft werden, ob bei höherer Geschwindigkeit mehr Bakterien in die Zylinder 2-4 des Perlators hinübergerissen werden.

Dazu wurde die Luftdurchflußgeschwindigkeit auf die maximale Leistung der Vakuumpumpe eingestellt. Sie betrug 12,5 l/min. Das Absaugen eines Aerosolvolumens von 50 l dauerte 4 min. Die Zerstäubungssuspension besaß eine Konzentration von $6,8 \times 10^8$ Keimen/ml. Zerstäubt wurden in 4 min jeweils 0,75 ml, wobei ein Aerosolvolumen von 32 l erzeugt wurde, da die Zerstäubungsleistung konstant 8 l/min beträgt.

Zum Nachweis von Keimen aus einem Aerosolvolumen von 100 l

galten die gleichen Versuchsbedingungen. Das Absaugen von 100 l Luft dauerte in diesem Versuch 8 min, wobei ein Aerosolvolumen von 64 l erzeugt wurde.

Konzentration der Susp./ml	Konz. des Aerosols/l	Konz. des Sam- melmed./ml	Konz. d. rückgew. Aerosols/l	Rückgew. %
$6,8 \times 10^8$	$1,6 \times 10^7$	$1,2 \times 10^5$	$4,8 \times 10^5$	3,0
$6,8 \times 10^8$	$1,6 \times 10^7$	$8,0 \times 10^4$	$3,2 \times 10^5$	2,0
$6,8 \times 10^8$	$1,6 \times 10^7$	$1,1 \times 10^5$	$4,4 \times 10^5$	2,7
$6,8 \times 10^8$	$1,6 \times 10^7$	$1,4 \times 10^5$	$5,6 \times 10^5$	3,5
a) 50 l/4min				

$6,8 \times 10^8$	$1,6 \times 10^7$	$3,2 \times 10^5$	$6,4 \times 10^5$	4,0
$6,8 \times 10^8$	$1,6 \times 10^7$	$2,4 \times 10^5$	$4,8 \times 10^5$	3,0
$6,8 \times 10^8$	$1,6 \times 10^7$	$2,2 \times 10^5$	$4,4 \times 10^5$	2,7
$6,8 \times 10^8$	$1,6 \times 10^7$	$2,6 \times 10^5$	$5,2 \times 10^5$	3,2
b) 100 l/8min				

Mittelwert und Streuung: a) $2,8 \pm 0,6\%$ b) $3,2 \pm 0,5\%$

Tab. 4 Rückgewinnung aus einem Aerosolvolumen von 50 l und 100 l bei einer Luftdurchflußgeschwindigkeit von 12,5 l/min

Aus der Tab. 4 ist zu entnehmen, daß eine höhere Rückgewinnung im Vergleich zu den Versuchen mit einer Luftdurchflußgeschwindigkeit von 6,25 l/min stattgefunden hat.

Die Titration der Sammelflüssigkeit der Zylinder 2-4 betrug in beiden Versuchen 10^2 , 10^2 und 10^1 . Diese Werte sind so gering, daß sie nicht zu einer wesentlichen Erhöhung der Rückgewinnungsrate beitrugen.

IV. Besprechung und Ergebnisse

Das Ziel dieser Arbeit war, eine Nachweismethode von Mikroorganismen aus der Luft zu finden.

Dazu wurde der Siebplattenperlator entwickelt, der bezüglich Handhabung und Desinfektion einfach zu bedienen ist und eine Rückgewinnung von Mikroorganismen aus der Luft gestattet.

Bei der Prüfung der Rückgewinnungsrate eines Bakterienaerosols ergab sich, daß eine Rückgewinnung bis zum Element 4 möglich war.

Außerdem wurde bei zunehmenden Luftmengen eine entsprechend höhere Keimzahl/ml ermittelt. Dies gilt im Bereich von 50 - 150 l.

Ferner wurden bei den Versuchen mit höherer Luftdurchflußgeschwindigkeit eine höhere Rückgewinnungsrate erreicht.

Die Ergebnisse der Rückgewinnung an lebensfähigen Keimen stehen im Vergleich mit den Ergebnissen, die GOLDBERG (1963) gefunden hat. Dabei wurde ein "Continuous Impinger" mit einem AGI 30 (All Glass Impinger 30) verglichen.

Die Herstellung der erregerrhaltigen Suspension, die zerstäubt wurde, war die auch von uns angewandte Methode. Lediglich die Anzüchtungstemperatur war unterschiedlich, und zwar bei GOLDBERG 37°C und in unseren Versuchen 30°C. Nach BERGEY's Manual liegt das Temperaturoptimum für *Serratia marcescens* bei 20°C - 30°C. Bei einigen Stämmen wird bei 37°C das Wachstum verhindert. Da GOLDBERG die in dem Aerosol befindlichen Keimzahlen nicht erwähnt hat, konnte eine prozentuale Überlebensrate nicht angegeben werden. Es wurde lediglich festgehalten, daß nach 24 Stunden 1233 bzw. 1659 Kolonien ausgezählt wurden. Diese Keimmenge wurde aus einem Luftvolumen von 1350 l bzw. 50 ft³ gewonnen. Die von uns durchgeführten Versuche zeigten,

daß mit Hilfe des Siebplattenperlators eine höhere Keimrückgewinnung möglich war.

ROSEBURY hat 1948 eine Suspension von *Serratia marcescens* mit einem Keimgehalt von $7,3 \times 10^8$ /ml zerstäubt und in verschiedenen Sammelmedien (z.B. 0,85% NaCl, Gelatine, 0,1 m K_2HPO_4 u.a.) eine Konzentration von $1,8 \times 10^4$ /l bis $5,3 \times 10^3$ /l zurückgewonnen. Die Rückgewinnung betrug in 7 Versuchen weniger als 0,1%.

ROSEBURY macht für die Rückgewinnung von lebensfähigen Keimen auf den Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit aufmerksam. Die bei den hier beschriebenen Versuchen herrschende Luftfeuchtigkeit betrug zwischen 40 und 50%.

ROSEBURY unternahm Aerosolveruche bei verschiedenen Luftfeuchtigkeitsbereichen und stellte fest, daß bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 40% eine Rückgewinnungsrate von 0,9%, jedoch bei 86% eine Rückgewinnung von etwa 12% an lebensfähigen Organismen erreicht werden konnte. Weiterhin konnte er die Sammelquote erhöhen - in einigen Fällen bis zu 30% Rückgewinnung - indem er dem Zerstäubungsmedium 4% Gelatine hinzufügte.

DIMMICK (1972) sowie BENBOUGH und HAMBLETON (1972) führten in ihren Vorträgen über das Verhalten von Keimen in Aerosolen folgendes aus: Wenn eine Zelle oder ein Bakterium bei dem Zerstäubungsvorgang von einem feuchten Medium in ein trockenes Medium gelangt, so laufen Dehydrationsprozesse ab, die die Zellwand und eventuell auch DNS oder RNS verändern. Wenn nun eine Schädigung der Zellwand eintritt, so kann einmal ein bestimmter Reparationsmechanismus der Zelle selbst diesen Defekt schließen oder aber die Zelle erleidet bei der Zurückgewinnung in die Sammelflüssigkeit einen osmotischen Schock, wobei sie aufquillt und/oder platzt. Es gibt eine Vielzahl anderer Theorien über den Le-

bend-Tot-Mechanismus einer Zelle oder eines Mikroorganismus (ANDERSON and COX (1967)). Eines jedoch steht fest, daß eine Zelle ein bestimmtes Adaptionsvermögen besitzt, das sie befähigt, sich Milieuveränderungen anzupassen und nach einer gewissen Zeit wieder normal zu funktionieren.

Die Inaktivierung bzw. der "death-mechanism" (ANDERSON and COX (1967)) von aerosolisierten Mikroorganismen wird von Einflüssen wie relative Luftfeuchtigkeit, Wasserverlust, Luftsauerstoff, Strahlung, osmotischer Schock während des Sammelns abhängig gemacht. Dabei muß der ganze Vorgang im Zusammenhang gesehen werden, da nicht eine "Noxe" allein, sondern im Wirken mit anderen schädigenden Einflüssen zur Abtötung eines Mikroorganismus führt.

Die Diskussion dieser Mechanismen wird in der Aerosol-Grundlagenforschung noch lange anhalten.

Die Aufgabe dieser Arbeit war, ein Luftkeim-Sammelgerät zu konstruieren, um, ausgehend von den natürlichen Umweltbedingungen hinsichtlich Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit, Lichteinwirkung eine praxisnahe Anwendbarkeit zu erkunden. Da der Siebplattenperlator ein Bakterienaerosol der Größenordnung 10^4 - 10^5 Keime/ml zu sammeln in der Lage ist, besteht die Möglichkeit z.B. die Abluft von Massentierhaltungen zu überprüfen.

V. Kritische Betrachtung des Siebplattenperlators

Der entwickelte Siebplattenperlator ist in der Lage, Mikroorganismen aus der Luft zu sammeln. Die maximale Durchflußmenge, die mit Hilfe einer Vakuumpumpe erreicht wurde, betrug $12,5 \text{ l/min}$. Demzufolge würde der Perlator, der mit 4 Elementen in Betrieb genommen wird, für das Absaugen von 1 m^3 Luft eine Zeit von 80 min benötigen. Da das Absaugen wegen der Gefahr des Über-

schäumens des Sammelmediums zu lange dauert, ist es zweckmäßig, eine leistungsstärkere Vakuumpumpe ($3 \text{ m}^3/\text{h}$) an den Perlator anzuschließen. Dazu müßten die Verbindungsschläuche durch Unterdruckschläuche mit Innenspirale ersetzt werden. Die Luftturbulenz, die in gewisser Hinsicht erwünscht ist, in diesem Falle aber zu stark sein kann, wird ausgeglichen durch eine geringfügige Vergrößerung des Kanülenquerschnittes.

VI. Zusammenfassung

Zur Erfassung von Mikroorganismen aus der Luft wurde ein Siebplattenperlator entwickelt. Dieses Luftkeimsammelgerät gestattet eine Rückgewinnung, die bezüglich der Umweltbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit) optimal ist.

Die Ergebnisse der Rückgewinnung von Keimen aus der Luft beziehen sich auf ein Aerosolvolumen bis 150 l. Für größere Luftproben werden Änderungen, insbesondere leistungsstärkere Vakuumpumpen, vorgeschlagen.

Der quantitative Nachweis unter experimentellen Bedingungen ist im Vergleich zu den Ergebnissen anderer Luftkeimsammelgeräte, z.B. des All-Glass-Impingers, gleichwertig. Eine Verbesserung der Sammelquote kann durch Zusätze zur Zerstäubungssuspension sowie zum Sammelmedium erreicht werden.

VII. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- ANDERSON, A.A. New sampler for the collection, sizing
and enumeration of viable airborne par-
ticles.
J. Bact. 76, 471-484, 1958
- ANDERSON, J.D. and COX, C.S.
Microbial Survival.
In P.H. Grogory and J.L. Monteith (Eds)
"Airborne Microbes"
17th symp.Soc. for Gen. Microbiol.
Camb. Univ. Press London, 1967
- ALBRINK, W.S., BROOKS, S.M., BIRON, R.E. and KOPEL, M.
Human inhalation anthrax: A report of
three fatal cases.
Am. J. Pathol. 36, 457-471, 1960
- ARTENSTEIN, M.S. and CADIGAN, F.C.
Air sampling in viral respiratory disease.
Archs. envir. Hlth. 9, 58, 1964
- BENBOUGH, J. E. and HAMBLETON, P.
Structural, organisational and functional
changes associated with envelopes of
bacteria sampled from aerosols.
4th Intern. Symp. on Aerobiol.
Enschede, Niederlande 1972
- BOURDILLON, R. B., LIDWELL, O. M. and SCHUSTER, E.
An improves slit sampler with accurate
timing. In "Studies in air hygiene".

Med. Res. Council. Spec. Rep.

London 262, 12, 1948

DAVID, A.M.D.

Artificial Humidification

Med. Sci. January 1966

Du BUY, H. G. and CRIPS, L. R.

A sieve device for sampling airborne
micro-organisms.

Pub. Hlth. Rep. 59, 829-832, 1944

CHAPIN, C. V.

The sources and modes of infection.

2nd Edition, John Wiley and Sons.

New York, 1912

CHCPE, H. D. and SMILLIE, W. G.

Airborne infection

J. Ind. Hyg. Toxicol. 18, 780-792, 1936

COWN, W. B., KETHELEY, T. W. and FINCHER, E. L.

The critical - orifice liquid impinger
as a sampler for bacterial aerosols.

Appl. Microbiol. 5, 119 - 124, 1957

COX, C. S.

Protecting agents and their mode of
action.

Proc. 1st Intern. Symp. Aerobiol.

Berkeley, Calif. 1963

DARLOW, H. M.

Methods in Microbiology.

1, 173-174, 1969

DIMMICK, R. L., HATCH, M. T. and J. NG

A particle-sizing method for aerosols and

fine powders.

A.M.A. Arch. Indust. Hlth. 18, 23-29, 1958

DIMMICK, R. L.

Damage and Repair - a time dependent Phenomenon?

4th Intern. Symp. Aerobiol.

Enschede, Niederlande 1972

GOLDBERG, L.J. and FORD, I.

The function of chemical additives in enhancing microbiol survival in aerosols.

4th Intern. Symp. Aerobiol.

Enschede, Niederlande 1972

GOLDBERG, L. J. and WATKINS, H.M.S.

Preliminary studies with a continuous impinger for collection of bacterial and viral aerosol samles.

1th Intern. Symp. Aerobiol.

Berkeley, Calif. 1963

HAHON, N. and McGAVRAN, M. H.

Airborne infectibility of the cygnomolgus monkey *Macaca irus*.

J. infect. Dis. 109, 249, 1961

KELLY, C. D., PADY, S.M., POLUNIN, N.

Canad. J. Botany 29, 206, 1951

LANGMUIR, A.D.

"Airborne infection", in "ROSENAU preventive medicine and public health"

8th Edition, Appleton - Century - Crofts.

New York, 152-167, 1956

- ROSEBURY, T. Experimental air-borne infection.
The Williams and Wilkins Company,
Baltimore, 138-145, 1947
- SAFIR, A.I. Mikrobiologičeskij metod gigieničeskogo
issledovani ja vozducha. (Mikrobiolo-
gische Methode der hygienischen Luft-
untersuchung)
Leningrad, 1945
- SCHOOP, G. Newcastle Virusinfektion bei Huhn und Mensch
Dtsch. Tierärztl. Wschr. 19, 546, 1962
- STOJANOVSKIJ, A.F., REVA, V.V.
Zurnal mikrobiologii, epidemiologii i
immunobiologii. 3, 53, 1954
- SULKIN, S.E., PIKE, R.M.
Survey of laboratory infections.
Amer. J. Publ. Hlth. 41, 769-781, 1951
- VLODAVEC, V.V. Moderne Methoden der bakteriologischen
Luftforschung.
Aus dem Sysin-Institut für allgemeine
und kommunale Hygiene an der Akademie der
Medizinischen Wissenschaften der UdSSR 1958
- WERB, S.J., BATHER, R., HODGES, R.W.
The effect of relative humidity and
inositol an airborne viruses.
Can. J. Microbiol. 9, 87-92, 1963

WOLF, H. W., SKALLY, P., HALL, L.B., HARRIS, M.M., DECKER, H.M.,
BUCHANAN, L.M., DAHLGREN, C.M.

Sampling microbiological aerosols.

Publ. Hlth. Mon. 60, 1959

WINKLER, K.C.

The scope of Aerobiology.

4th Intern. Symp. Aerobiol.

Enschede, Niederlande 1972

Lebenslauf

Am 23. Dezember 1942 wurde ich, Peter Schick, als drittes Kind der Eheleute Dr. med. vet. Heinz Schick und seiner Frau Ilse, geb. Zaggarus, in Innsbruck geboren. Neben meinem Zwillingsbruder habe ich noch drei Geschwister. Ich besitze die deutsche Staatsangehörigkeit und bin seit dem 9. Mai 1969 verheiratet.

Von 1949 bis 1953 besuchte ich die evangelische Volksschule und ab 1953 das Amplonius-Gymnasium in Rheingebirg (Rhld.), an dem ich 1963 die Reifeprüfung ablegte.

Vom 1. April 1963 bis zum 31. März 1965 leistete ich meinen Wehrdienst bei der deutschen Bundeswehr, aus der ich als Leutnant der Reserve ausschied.

Im Sommersemester 1965 begann ich das Studium der Veterinärmedizin an der Justus Liebig-Universität in Gießen. Dort bestand ich das Staatsexamen im Wintersemester 1970/1971. Am 18. Januar erhielt ich meine Approbation.

Vom 1. Januar 1971 bis zum 31. Dezember 1972 war ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geflügelkrankheiten in Gießen angestellt. Während dieser Zeit fertigte ich die vorliegende Dissertation an.

Zur Zeit bin ich Sanitätsoffizier bei der Bundeswehr und arbeite in einem Forschungslabor auf dem Fachgebiet der Radiologie.

Am Schluß meiner Arbeit möchte ich Herrn Prof. Dr. H. Geißler für die freundliche Überlassung des Themas sowie die jederzeitige Unterstützung meiner Arbeit danken.

Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr. J. Kösters für die wissenschaftliche Leitung und Hilfe bei meiner Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. J. Geringer für die stets entgegenkommende Unterstützung bei den mikrobiologischen Untersuchungen.

Ebenso herzlich danke ich den Angestellten des Institutes für die freundliche Aufnahme und Unterstützung bei der Durchführung der Versuche.

